



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND

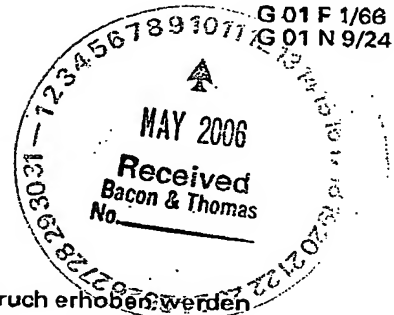


DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 101 06 308 C 1

②1 Aktenzeichen: 101 06 308.3-52  
②2 Anmeldetag: 12. 2. 2001  
④3 Offenlegungstag: -  
④5 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 11. 7. 2002

⑤ Int. Cl. 7:  
G 01 P 5/24  
G 01 F 1/66  
G 01 N 9/24



Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:  
Siemens AG, 80333 München, DE

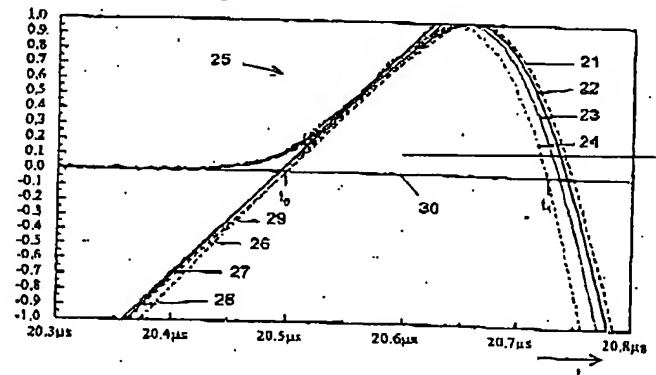
⑦2 Erfinder:  
Püttmer, Alf, Dr., 76135 Karlsruhe, DE; Hauptmann,  
Peter, Prof. Dr., 39326 Hermsdorf, DE; Hoppe, Niels,  
Dipl.-Ing., 39120 Magdeburg, DE

⑤9 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 40 11 526 A1  
US 40 52 896  
US 40 28 938

⑤4 Verfahren und Einrichtung zur Messung der Laufzeit eines akustischen Signals

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur Messung der Laufzeit eines akustischen Signals (5), bei welchem im Verlauf des Empfangssignals der Punkt maximaler Steigung an der Vorderflanke der ersten Halbwelle der Wellengruppe und das Ende der Laufzeit des akustischen Signals in Abhängigkeit des Zeitpunkts ( $t_0$ ) ermittelt wird, zu welchem eine Tangente (29), die in dem Punkt maximaler Steigung an den Verlauf (24) des Empfangssignals gelegt wird, die Nulllinie (30) schneidet. Dadurch wird eine verbesserte Unabhängigkeit des Messergebnisses von der Luftblasenkonzentration in flüssigen Medien erreicht.



DE 101 06 308 C 1

DE 101 06 308 C 1

## DE 101 06 308 C 1

1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung der Laufzeit eines akustischen Signals nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, eine Anwendung des Verfahrens nach Anspruch 3, sowie eine Einrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 4.

[0002] Aus der US-PS 4 028 938 ist bereits ein Verfahren zur Messung der Laufzeit eines akustischen Signals bekannt, das bei der Durchflussmessung nach dem Laufzeitdifferenzprinzip angewendet wird. Ein Paar von elektroakustischen Wandlern ist in Strömungsrichtung zueinander beabstandet an einem Messrohr angebracht, durch welches ein flüssiges Medium mit einer zu messenden Geschwindigkeit fließt. Zunächst wird der eine Wandler als Sender und der andere als Empfänger betrieben. Der Sendewandler sendet ein akustisches Signal durch die Flüssigkeit über eine im Messrohr verlaufende Messstrecke, das den Empfangswandler als eine über mehrere Schwingungen ansteigende und wieder abfallende Wellengruppe erreicht. Läuft dabei das Schallsignal in der Fließrichtung des Mediums, so wird die akustische Übertragung des Signals durch den Fluss des Mediums unterstützt und die Laufzeit reduziert. Das umgekehrte ist der Fall, wenn sich der Schall entgegen der Fließrichtung ausbreitet. Nach der Messung in der einen Richtung wird die Betriebsart umgeschaltet, so dass nun der andere Wandler als Sender und der eine Wandler als Empfänger betrieben und erneut eine Laufzeitmessung durchgeführt wird. In Abhängigkeit von der Differenz der in den beiden Betriebsarten gemessenen Laufzeiten kann die Fließgeschwindigkeit des Mediums berechnet werden. Die Genauigkeit der Durchflussmessung wird dabei wesentlich durch die Genauigkeit der Messungen der Laufzeiten der akustischen Signale bestimmt. Es wird eine Zeitmesseinrichtung benötigt, die zur richtigen Zeit gestartet und gestoppt werden muss. Da der Start der Zeitmesseinrichtung mit der Ausgabe eines elektrischen Impulses an dem Sendewandler erfolgen kann, ist es vergleichsweise einfach, den Startzeitpunkt mit dem Aussenden eines akustischen Signals über die Messstrecke zu synchronisieren. Schwierig ist es dagegen, die Zeitmesseinrichtung genau zu dem Zeitpunkt zu stoppen, zu welchem das akustische Signal den Empfangswandler erreicht. Üblicherweise ist dem Empfangswandler ein Schwellwertschalter nachgeschaltet, der beim ersten Nulldurchgang des Empfangssignals ein Signal zum Stoppen der Zeitmesseinrichtung ausgibt. Dieses Verfahren ist jedoch problematisch, wenn aufgrund von Inhomogenitäten in den Eigenschaften des fließenden Mediums, beispielsweise durch Gasblasen in einer Flüssigkeit, die Amplituden der Empfangssignale bei der Stromauf- und Stromabmessung erheblich voneinander abweichen und unterschiedliche Nulldurchgänge zum Stoppen der Zeitmesseinrichtung verwendet werden.

[0003] Zur Vermeidung, dass derartige Fehler in das Messergebnis einfließen, wird in der US-PS 4 028 938 vorgeschlagen, das Empfangssignal auf Einhalten vorbestimmter Eigenschaften zu überwachen und Messergebnisse zu verwerfen, wenn diese Eigenschaften beim Empfangssignal fehlen. Nachteilig bei diesem Verfahren ist, dass möglicherweise über längere Zeit keine Messergebnisse erhalten werden oder dass andererseits bei geringen Anforderungen an das Einhalten vorgegebener Eigenschaften fehlerbehaftete Messwerte ausgegeben werden.

[0004] Aus der US-PS 4 052 896 ist ein Verfahren zur Messung der Laufzeit eines akustischen Signals bekannt, bei welchem das akustische Signal ebenfalls von einem Sendewandler über eine Messstrecke gesandt und einen Empfangswandler als über mehrere Schwingungen ansteigende

2

Wellengruppe erreicht.

[0005] Ein weiteres Verfahren zur Ultraschalldurchflussmessung an strömenden Medien ist aus der deutschen Offenlegungsschrift DE 40 11 526 A1 bekannt.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Einrichtung zur Messung der Laufzeit eines akustischen Signals zu finden, das sich durch eine geringere Abhängigkeit des Messergebnisses von Inhomogenitäten eines flüssigen Mediums in der Messstrecke, insbesondere von der Gasblasenkonzentration in dem flüssigen Medium, auszeichnet.

[0007] Zur Lösung dieser Aufgabe weist das neue Verfahren der eingangs genannten Art die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 angegebenen Merkmale auf. Dabei können Sende- und Empfangswandler durch denselben Wandler realisiert sein, wenn das akustische Signal in seinem Ausbreitungsweg derart reflektiert wird, dass es zur Schallquelle zurückgeworfen wird. Eine vorteilhafte Ausbildung des Verfahrens, eine Anwendung des Verfahrens, sowie eine Einrichtung zur Messung der Laufzeit eines akustischen Signals sind in den Ansprüchen 2, 3 bzw. 4 beschrieben.

[0008] Die Erfindung hat den Vorteil, dass sich veränderliche Gasblasenkonzentrationen in einem gewissen Bereich kaum auf das Ergebnis der Laufzeitmessung eines akustischen Signals in einem flüssigen Medium auswirken. Sie beruht auf der Erkenntnis, dass Gasblasen in einem flüssigen Medium wie ein selektives Filter wirken und bestimmte Frequenzanteile aus dem Ultraschallsignal herausfiltern. Das führt zu einer Verformung des Verlaufs des Empfangssignals, bei welcher sich der bisher detektierte Nulldurchgang verschiebt. Somit wurde durch das Vorhandensein von Gasblasen in der Flüssigkeit die Messung der Laufzeit verfälscht, wodurch beispielsweise bei einem Ultraschalldurchflussmesser nach dem Laufzeitdifferenzprinzip bei sich zwischen den Messungen ändernden Eigenschaften des Messmediums erhebliche Messfehler verursacht wurden. Dagegen bleibt der nun detektierte Signalbeginn, d. h. der Zeitpunkt, zu welchem die ersten Signalanteile des akustischen Signals den Empfangswandler erreichen, von schwankenden Gasblasenkonzentrationen in einem gewissen Bereich unbeeinflusst. Das neue Verfahren ist ohne großen Aufwand mit einem digitalen Signalprozessor durchführbar, der in geeigneter Weise programmiert ist und anhand eines abgespeicherten Verlaufs des Empfangssignals die erforderlichen Berechnungen durchführt. Prinzipiell ist das Verfahren in allen Messgeräten einsetzbar, bei denen die Laufzeit eines akustischen Signals durch ein Medium zu messen ist. Die Vorteile des Verfahrens treten insbesondere dann in den Vordergrund, wenn in einem flüssigen Medium Inhomogenitäten, wie z. B. Gasblasen, auftreten können.

[0009] Bei einem Messgerät zur Ultraschalldichtemessung, bei welchem anhand der akustischen Impedanz und der Laufzeit eines akustischen Signals durch das Messmedium die Dichte berechnet wird, wirkt sich dieser Vorteil als Verbesserung der erreichbaren Messgenauigkeit aus. Bei Geräten zur Messung der Dichte werden häufig sowohl Sende- als auch Empfangswandler durch denselben elektroakustischen Wandler, der meist eine Piezoscheibe aufweist, realisiert.

[0010] Das neue Verfahren ermöglicht zudem in vorteilhafter Weise eine Aussage über die Gasblasenkonzentration im flüssigen Medium in der Messstrecke. Dazu wird der zeitliche Abstand zwischen dem Ende der Laufzeit, also dem Signalbeginn, und dem Nulldurchgang des Verlaufs des Empfangssignals am Ende der ersten Halbwelle bestimmt und in Abhängigkeit von diesem Abstand ein Signal zur Anzeige der Konzentration ermittelt.

[0011] Insbesondere eine Anwendung des Verfahrens bei

## DE 101 06 308 C 1

3

einer Ultraschalldurchflussmessung nach dem Laufzeitdifferenzprinzip hat den Vorteil, dass das Ergebnis der Durchflussmessung in sehr geringem Maße von Schwankungen der Gasblasenkonzentration abhängt.

[0012] Anhand der Zeichnungen, in denen ein Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt ist, werden im Folgenden die Erfindung sowie Ausgestaltungen und Vorteile näher erläutert.

[0013] Es zeigen:

[0014] Fig. 1 Ein Blockschaltbild eines Geräts zur Ultraschalldurchflussmessung,

[0015] Fig. 2 ein Zeitdiagramm mit mehreren Verläufen des Empfangssignals bei jeweils verschiedenen Luftblasenkonzentrationen und

[0016] Fig. 3 einen Ausschnitt aus Fig. 2 mit den ersten Halbwellen der Wellengruppen in normierter Darstellung.

[0017] Gemäß Fig. 1 werden von einem Mikroprozessor 1, welcher sämtliche Steuer- und Auswertefunktionen übernimmt, binäre Steuersignale an eine Ansteuerschaltung 2 für zwei Ultraschallwandler 3 und 4 ausgegeben. Die Ansteuerschaltung 2 weist einen Kommutator auf, mit welchem die beiden Ultraschallwandler 3 und 4 wechselweise als Sendebzw. als Empfangswandler betrieben werden können. Zu dem in Fig. 1 dargestellten Zeitpunkt arbeitet der Wandler 3 als Sender, der Wandler 4 als Empfänger. Ein akustisches Signal 5 verläuft somit entgegen einer Fließrichtung eines in einem Rohr 6 befindlichen Mediums 7. Zur Laufzeitmessung wird durch den Mikroprozessor 1 ein Startsignal an die Ansteuerschaltung 2 ausgegeben, die ein impulsförmiges Signal zur Anregung des Sendewandlers 3 erzeugt. Gleichzeitig wird eine Zeiteinrichtung des Mikroprozessors 1 zur Messung der Laufzeit des akustischen Signals 5 gestartet. Das in das flüssige Medium 7 abgestrahlte akustische Signal 5 gelangt nach dem Durchlaufen der Messstrecke zu dem Empfangswandler 4 und wird dort in ein elektrisches Signal umgewandelt. Mit einem in der Ansteuerschaltung 2 befindlichen Empfangsverstärker wird dieses elektrische Signal verstärkt und mit einem Analog-Digital-Umsetzer in ein digitales Signal gewandelt, das an den Mikroprozessor 1 übergeben wird. Die Digitalwerte des Verlaufs des Empfangssignals legt der Mikroprozessor 1 in einem Speicher 8 ab. Das Programm zur Steuerung und Auswertung der Messungen befindet sich in einem Speicher 9. Mikroprozessor 1 und Speicher 9 haben somit die Funktion einer Auswerteeinrichtung. Mit einer Bedien- und Anzeigeeinheit 10, beispielsweise einem Touchscreen, können Messvorgänge gestartet und Messergebnisse sowie ein Signal zur Anzeige einer Blaskonzentration ausgegeben werden.

[0018] Anhand der Fig. 2 und 3 soll im Folgenden das mit der Einrichtung nach Fig. 1 durchgeführte Verfahren zur Messung der Laufzeit eines akustischen Signals erläutert werden. In den Fig. 2 und 3 sind Verläufe des Empfangssignals für flüssige Medien verschiedener Luftblasenkonzentration über der Zeit  $t$  dargestellt. An der Abszisse ist jeweils die Zeit  $t$  in Mikrosekunden angegeben. An der Ordinate ist in Fig. 2 die Spannung  $V$  des verstärkten Empfangssignals in Volt, in Fig. 3 die jeweils auf das Maximum der ersten Halbwellen normierte Amplitude aufgetragen.

[0019] Bei jeweils gleicher Fließgeschwindigkeit eines flüssigen Mediums wurden ein Verlauf 21 eines Empfangssignals für ein luftblasenfreies Medium, ein Verlauf 22 eines Empfangssignals für ein Medium mit geringer Luftblasenzahl, ein Verlauf 23 eines Empfangssignals für ein Medium mit mittlerer Luftblasenzahl sowie ein Verlauf 24 eines Empfangssignals für ein Medium mit hoher Luftblasenzahl aufgenommen und abgespeichert. In Fig. 2, in der jeweils eine über mehrere Schwingungen ansteigende und wieder abfallende Wellengruppe dargestellt ist, wird besonders

4

deutlich, dass mit steigender Anzahl der Luftblasen im flüssigen Medium die Amplitude der Schwingungen sinkt. Fig. 3, in welcher die erste Halbwelle 25 der Wellengruppen mit normierter Amplitude dargestellt ist, zeigt dagegen, dass der erste Nulldurchgang der Verläufe 21 bis 24 mit steigender Luftblasenkonzentration im flüssigen Medium erheblich verschoben wird und dass somit Gasblasen bei der bisherigen Nulldurchgangsdetektion zur Laufzeitmessung zu erheblichen Messfehlern führen. Bei dem neuen Verfahren wird im Verlauf des Empfangssignals der Punkt maximaler Steigung an der Vorderflanke der ersten Halbwelle 25 der Wellengruppe bestimmt. An den Kurvenverlauf wird jeweils eine Gerade mit der in diesem Punkt ermittelten Steigung gelegt. Der Punkt kann auch als Wendepunkt, die Gerade als Wendetangente bezeichnet werden. Auf diese Weise wurden die in Fig. 3 eingezeichneten Wendetangenten 26, 27, 28 und 29 für die Verläufe 21, 22, 23 bzw. 24 ermittelt. Fig. 3 zeigt sehr deutlich, dass die Schnittpunkte der Wendetangenten 26...29 mit einer Nulllinie 30 nahezu bei demselben Zeitpunkt  $t_0$  liegen. Da das Ende der Laufzeit des akustischen Signals als die zeitliche Lage dieses Schnittpunktes bestimmt wird, ist das Ergebnis der Laufzeitmessung weitgehend unabhängig von der Konzentration der Luftblasen im flüssigen Medium. Daraus ergibt sich eine wesentliche Verbesserung der Messgenauigkeit bei Messgeräten, in welchen das Verfahren zur Laufzeitmessung angewandt wird.

[0020] Zusätzlich kann in einfacher Weise anhand der Zeitdifferenz zwischen der zeitlichen Lage des ersten Nulldurchgangs nach der ersten Halbwelle 25 und der zeitlichen Lage des Schnittpunktes der Wendetangente mit der Nulllinie 30 eine Aussage über die Konzentration der Gasblasen im flüssigen Medium gewonnen werden. Als Beispiel ist in Fig. 3 der Zeitpunkt  $t_1$  des Nulldurchgangs des Verlaufs 24 eines Empfangssignals für ein flüssiges Medium mit hoher Konzentration von Luftblasen und der Zeitpunkt  $t_0$  des Schnittpunktes der zugehörigen Wendetangente 29 eingetragen.

[0021] Alternativ zu dem beschriebenen Ausführungsbeispiel kann das Ende der Laufzeit durch eine Kombination der zeitlichen Lage des Schnittpunktes der Wendetangente mit der Nulllinie mit einer oder mehreren anderen Kenngrößen des Verlaufs des Empfangssignals erfolgen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung der Laufzeit eines akustischen Signals, das von einem Sendewandler (3) über eine Messstrecke gesendet wird und einen Empfangswandler (4) als über mehrere Schwingungen ansteigende Wellengruppe erreicht, dadurch gekennzeichnet, dass im Verlauf des Empfangssignals der Punkt maximaler Steigung an der Vorderflanke der ersten Halbwelle (25) der Wellengruppe bestimmt wird und dass das Ende der Laufzeit des akustischen Signals in Abhängigkeit des Zeitpunkts ( $t_0$ ) ermittelt wird, zu welchem eine Tangente (29), die in dem Punkt maximaler Steigung an den Verlauf (24) des Empfangssignals gelegt wird, die Nulllinie (30) schneidet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der zeitliche Abstand zwischen dem Ende der Laufzeit ( $t_0$ ) und dem Nulldurchgang ( $t_1$ ) des Verlaufs des Empfangssignals am Ende der ersten Halbwelle (25) bestimmt wird und dass in Abhängigkeit des Abstandes ein Signal zur Anzeige einer Konzentration von Gasblasen in einer Flüssigkeit in der Messstrecke ermittelt wird.
3. Anwendung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder 2, bei einer Ultraschalldurchflussmessung nach dem

## DE 101 06 308 C 1

5

6

Laufzeitdifferenzprinzip.

4. Einrichtung zur Messung der Laufzeit eines akustischen Signals (5),  
mit einem Sendewandler (3), der das akustische Signal (5) über eine Messstrecke sendet,  
mit einem Empfangswandler (4), den das akustische Signal als über mehrere Schwingungen ansteigende Wellengruppe erreicht,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass ein Speicher (8) vorgesehen ist zur Abspeicherung des Verlaufs des Empfangssignals zumindest im Bereich der Vorderflanke der ersten Halbwelle (25) der Wellengruppe und  
dass eine Auswerteeinrichtung (1, 9) vorgesehen ist zur Auswertung des abgespeicherten Signalverlaufs derart, dass im Verlauf des Empfangssignals der Punkt maximaler Steigung an der Vorderflanke der ersten Halbwelle (25) der Wellengruppe bestimmt wird und  
dass das Ende der Laufzeit des akustischen Signals in Abhängigkeit des Zeitpunkts ( $t_0$ ) ermittelt wird, zu welchem eine Tangente (29), die in dem Punkt maximaler Steigung an den Verlauf (24) des Empfangssignals gelegt wird, die Nulllinie (30) schneidet.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

ZEICHNUNGEN SEITE 1

Nummer:

Int. Cl. 7:

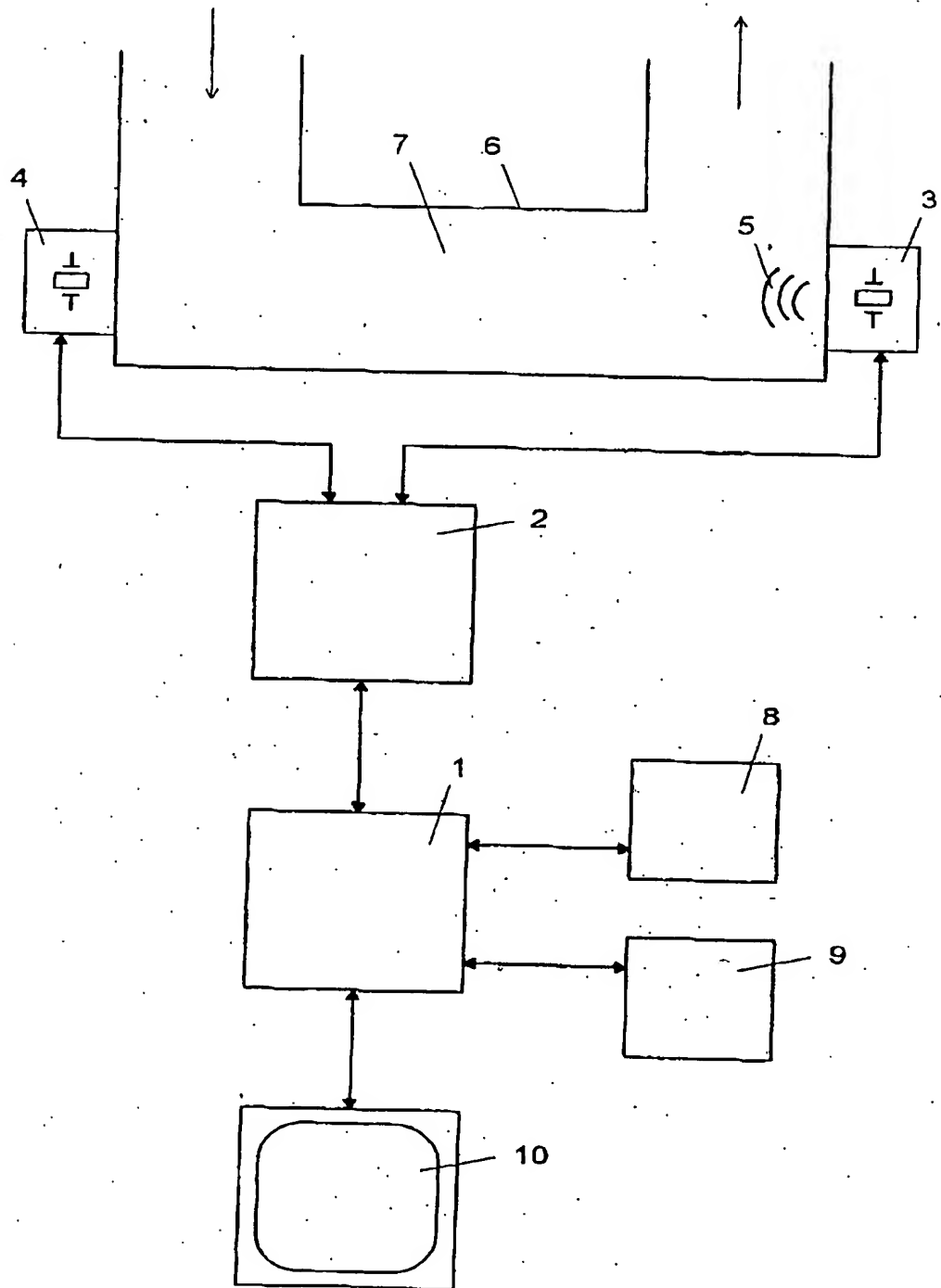
Veröffentlichungstag:

DE 101 06 308 C1

G 01 P 5/24

11. Juli 2002

FIG 1



ZEICHNUNGEN SEITE 2

Nummer:

DE 101 06 308 C1

Int. Cl.7:

G 01 P 5/24

Veröffentlichungstag:

11. Juli 2002

FIG 2

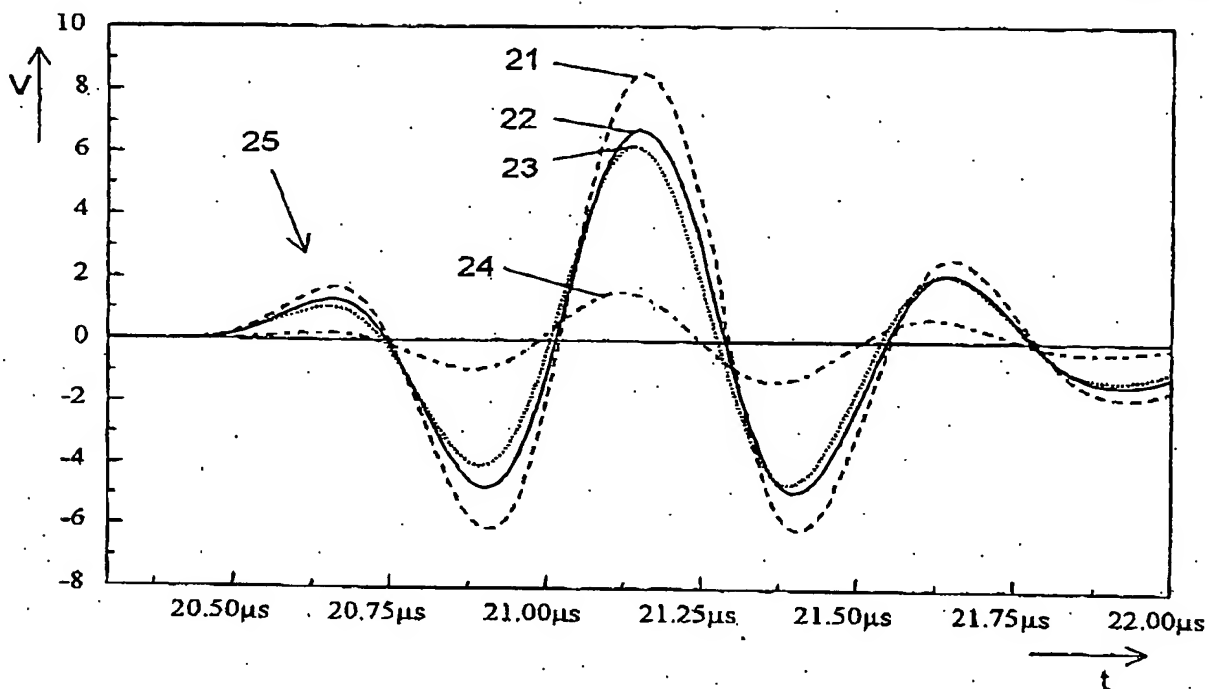


FIG 3

